Avaliação da deterioração estrutural de tubulações da rede de distribuição de água na Região Metropolitana de São Paulo

Structural deterioration evaluation of pipes of the water distribution network in the Sao Paulo Metropolitan Region

Guaraci Loureiro Sarzedas (*)
Engenheiro civil pela Escola de Engenharia Mackenzie (1984).
Mestre na área de saneamento básico pela Escola Politécnica da USP. Atuando, como engenheiro, há 23 anos na Sabesp, atualmente no Departamento de Planejamento Integrado da Diretoria Metropolitana.

Milton Tomoyuki Tsutiya (*in memoriam*)
Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da USP (1975).
Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica da USP (1983).
Doutor em Engenharia pela Escola Politécnica da USP (1989).
Professor do Depto. de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP.

Endereço para correspondência (*):
Rua Sumidouro, 448 - Pinheiros - São Paulo - SP - CEP: 05428-010 - Brasil - Tel: +55 (11) 3388-8164 - Fax: +55 (11) 3388-9103 - e-mail: gsarzedas@sabesp.com.br.

Data de entrada: 08/06/2009 Data de Aprovação: 04/03/2011

RESUMO

O gerenciamento da infraestrutura urbana está se tornando cada vez mais importante para as cidades ao redor do mundo. Aperfeiçoar um sistema significa maximizar seus benefícios à sociedade. Os benefícios são medidos através do desempenho e da qualidade dos serviços prestados ao sistema. Um dos indicadores mais usados para quantificar a frequência de falhas num sistema é o número anual de quebras por cem quilômetros de tubulação. Este artigo indica o aumento da frequência da falha com o tempo, embora a resistência do material da tubulação também tenha uma grande influência. Concluindo, o número de incidentes nos sistemas de abastecimento de água urbanos estará, provavelmente, aumentando continuamente no futuro com o envelhecimento dos sistemas.

ABSTRACT

Urban infrastructure management is becoming more and more important for cities around the world. To optimize a system means to maximize its net benefits to society. The benefits are measured by the performance and quality of service that the system provides. One of the common indicators used to quantify the frequency of pipe failures for a particular system is the annual number of breaks per hundred kilometers of pipe. This paper indicates the increase of the pipe failure frequency with time, although the pipe material resistance also had a big importance. As a conclusion, the number of incidents in urban water supply systems is likely to be continuously increasing in the future as systems grow older.

Palavras-chave: indicadores de desempenho; sistemas de distribuição de água; falhas de tubulações.

Keywords: performance indicators; water distribution systems; pipes failures.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e uso de indicadores de desempenho é um tópico atual das empresas de saneamento em todo o mundo. O uso do processo de avaliação de desempenho padronizado é o fator chave para a melhoria do desempenho de sistemas de abastecimento de água (ALEGRE et al., 2000).

A “International Water Association” – IWA, que representa cerca de 130 países, desenvolveu um sistema de indicadores de desempenho para serviços de água, os quais estão se tornando uma referência mundial no setor. Esse sistema é uma poderosa ferramenta de gestão para empresas prestadoras de serviços de água, independentemente de seus níveis de desenvolvimento e das suas características regionais, como clima, demografia e cultura.

O sistema de indicadores de desempenho da IWA inclui indicadores de recursos hídricos, de pessoal, físicos, operacionais, de qualidade de serviço e financeiros. Como esses indicadores cobrem praticamente todos os aspectos dos serviços de água, é possível selecionar algum grupo de indicadores para a análise do sistema de distribuição de água de um ponto de vista específico.

Com o envelhecimento dos sistemas de abastecimento de água, o planejamento de reabilitação das tubulações está ganhando cada vez mais a atenção das empresas de água e da comunidade de pesquisas. O principal objetivo do planejamento de reabilitação de sistemas de abastecimento de água é assegurar o desempenho do sistema e maximizar a eficiência econômica da operação.

Há três principais indicadores de desempenho que merecem destaque:

- Desempenho hidráulico - relativo à capacidade hidráulica do sistema de distribuição, ou seja, a queda de capacidade leva a problemas de intermitência no abastecimento e em aumento do custo energético de bombeamentos devido às perdas de capacidade hidráulica;
- Qualidade da água - bacteriológica, acarretando em maiores custos na desinfecção e estética, resultando em reclamações dos clientes quanto à cor e turbidez da água fornecida; e

- Confiabilidade do serviço – deterioração estrutural provocando vazamentos e arrebentamentos, acarretando no isolamento de parte da rede para reparo, resultando, muitas vezes, em reclamações de falta d'água.

Para a avaliação de tubulações que devam ser substituídas a análise da deterioração estrutural é um procedimento fundamental. Este estudo teve como foco a confiabilidade do serviço, mais especificamente na rede de distribuição de água.

CAUSAS DE FALHAS

Uma variedade de fatores causando falhas na tubulação tem sido identificada por vários autores (Morris Jr., 1967; Shamir e Howard, 1979; O'Day, 1982), sendo a relação apresentada por Morris Jr. (1967) uma das mais abrangentes:

- Projeto inadequado;
- Instalação imprópria;
- Oscilação ou transitório hidráulico;
- Movimento do solo;
- Corrosão interna;
- Corrosão externa;
- Diferencial de temperatura;
- Defeitos de fabricação; e
- Impactos.

Morris Jr. (1967) ressaltou que a causa das quebras das redes de água não pode sempre ser averiguada e que, geralmente, há uma combinação de causas. Shamir e Howard (1979) apresentaram a classificação de razões para quebras da tubulação em 4 categorias:

- A qualidade e a idade da tubulação e de suas respectivas peças de conexão;
- O tipo de ambiente no qual a tubulação é assentada – solo corrosivo e cargas externas;
- A qualidade da mão de obra utilizada para o assentamento da tubulação; e
- As condições operacionais, tais como pressão de trabalho e suas oscilações.

O'Day (1982) dividiu as principais causas de quebras das tubulações em três categorias: excesso de carga, temperatura e corrosão. Na literatura internacional (Deb et al., 1988; Pelletier, Mailhot e Villeneuve, 2003) o foco principal é

dado para falhas em tubulações de ferro fundido cinzento e ferro dúctil visto que estes materiais foram freqüentemente mais usados no passado. Há, entretanto, uma tendência a um incremento no uso de materiais plásticos (polietileno de alta densidade – PEAD e policloreto de vinila - PVC) e no futuro certamente haverá a expectativa de falhas dessas tubulações devido ao seu envelhecimento.

FREQUÊNCIA DE FALHAS

Um dos indicadores mais utilizados para quantificar a freqüência das falhas das tubulações para um sistema em particular é a relação entre a quantidade de quebras por extensão de tubulação num intervalo de tempo, geralmente o número anual de quebras por cem quilômetros de tubulação. Na Tabela 1 são apresentadas as freqüências de quebras em três estudos: em duas cidades dos Estados Unidos da América - EUA (O'Day et al., 1986), três municipalidades do distrito de Quebec, no Canadá (Pelletier, Mailhot e Villeneuve, 2003) e coletânea de dados de companhias de água do Reino Unido (Preston e Sturm, 2007).

A Tabela 1 indica claramente que a maioria das quebras ocorre em tubulações de ferro fundido cinzento. As diferenças existentes, para o mesmo material, nos três estudos mostram que outros fatores também são importantes na análise de quebras. Preston e Sturm (2007) apontam que pelo fato de cada sistema de distribuição possuir uma combinação única de materiais e tamanhos de tubulações diferentes é presumível que a freqüência de quebras irá variar de uma rede para outra.

Na maioria dos sistemas de abastecimento de água as tubulações de ferro fundido cinzento são as mais antigas, freqüentemente instaladas a mais de 50 anos. Muitos estudos têm indicado o incremento de freqüência de quebra de tubulações com o tempo. Então, o número de incidentes em sistemas de abastecimento urbano de água provavelmente terá um aumento contínuo com o envelhecimento dos sistemas.

CADASTRO DAS TUBULAÇÕES DE ÁGUA

A rede de distribuição de água da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP, operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Sabesp tem quase 30.000

Tabela 1 – Freqüência de quebras de tubulações para diferentes materiais

Localidade	Quebras/100km/ano				
	Ferro Fundido	Ferro Dúctil	Cimento Amianto	PVC	PEAD
Oakland, Califórnia, EUA	26	-	10,3	-	-
Denver, Colorado, EUA	7,6	0,7	5,7	-	-
Chicoutimi, Quebec, Canadá	70	30	-	2	-
Gatineau, Quebec, Canadá	69	22	-	1,8	-
Saint-Georges, Quebec, Canadá	27	7	-	-	-
Reino Unido	22,1	19,9	16,1	8,3	3,2

quilômetros de tubulações (Figura 1), servindo a uma população de cerca de 18 milhões de habitantes. As tubulações do sistema são predominantemente de ferro fundido e PVC, embora haja uma pequena quantidade de outros materiais como PEAD, cimento amianto e aço, entre outros (Figura 2).

Os dados de cadastro foram extraídos, em fevereiro de 2008, do sistema de informações geográficas existente, denominado Sistema de Informações Geográficas no Saneamento - Signos, implantado pela Sabesp, em agosto de 2004, com o objetivo de melhorar a qualidade nas ações de gerenciamento e operação das redes de abastecimento de água e coleta de esgoto. O serviço utiliza modernas tecnologias de informação que demonstram, graficamente, a localização dos componentes comerciais e operacionais da empresa, dentre eles as tubulações. Convém salientar que há um número significativo de segmentos de rede sem a data de instalação ou com data de instalação incoerente com o material da tubulação, compreendendo cerca de 20% da extensão total.

Na Figura 1 é mostrada a extensão de tubulação assentada por ano e a correspondente extensão de rede acumulada. Um acentuado crescimento é observado entre os anos de 1975 a 1983. A Figura 2 mostra a distribuição das tubulações de acordo com o material da rede de distribuição da RMSP. Geograficamente, o ferro fundido é o material preponderante no Município de São Paulo e o PVC nos demais municípios da RMSP, conforme mostra a Figura 3. O cadastro não faz distinção entre o ferro fundido cinzento e o ferro dúctil.

Figura 1 – Dados da rede de distribuição de água da RMSP Sabesp (fev./2008)

Figura 2 – Distribuição por material da rede de distribuição de água da RMSP Sabesp (fev./2008)

Figura 3 – Material da rede de distribuição de água da RMSP Sabesp (fev./2008)

CADASTRO DOS REPAROS DE VAZAMENTOS

Os dados referentes às falhas estão contidos no banco de dados do Sistema de Informações de Gestão do Atendimento da Operação – Sigao. Na verdade, referem-se aos serviços de reparo das falhas e não à falha propriamente dita. Infelizmente, os dados sobre cada falha somente estão disponíveis a partir de 2002.

Os dados disponíveis para um período maior foram possíveis a partir de relatórios gerenciais onde o número de reparos refere-se a todo o sistema de distribuição, englobando vazamentos em redes, ramais e cavaletes. Conforme os números atuais, onde é possível discriminar os vazamentos por essas três categorias, a quantidade de reparos na rede de distribuição representa cerca de 5% do total de vazamentos reparados.

A Figura 4 mostra a taxa de quebra (vaz./100 km.ano) para o período de 1996 a 2007. Ainda, são poucas as informações contidas no banco de dados de reparos de vazamentos, onde, para esse estudo, são importantes: a data do reparo, sua localização e o diâmetro da tubulação (disponível em alguns casos, através do código de execução do serviço). Outros dados como material, idade e profundidade, não constam desse banco de dados. Para a obtenção de tais dados foi necessário correlacionar os dados oriundos do banco de dados do Sigao com os dados do cadastro de rede do Signos, através de ferramentas de sistema de informações geográficas – SIG.

Figura 4 – Histórico de falhas na rede de distribuição de água da RMSP Sabesp (fev./2008)

Em alguns locais o cadastro de rede não apontou a existência de rede próxima ao reparo efetuado (caso que ocorreu com maior frequência nas áreas mais periféricas da RMSP). Em outros casos o vínculo não foi possível diante de inconsistência entre o diâmetro apontado no Sigao e o diâmetro da tubulação próxima ao ponto de vazamento (Figura 5).

Embora o Sigao contenha dados relativos a vários tipos de reparos, para esse estudo foram levados em consideração somente aqueles que fazem referência à tubulação em si ou a sua junta, ou seja, reparos em válvulas ou outros acessórios não foram computados.

Legenda

Pontos de vazamento

- sem identificação da tubulação
- com identificação da tubulação

Rede de distribuição

- até 100 mm
- de 100 a 400 mm
- acima de 400 mm
- Quadras

Figura 5 – Exemplo do vínculo entre o registro de falhas e o cadastro de tubulações

ANÁLISES EFETUADAS

A distribuição de vazamentos por mês de ocorrência do reparo (média mensal no período de 2002 a 2007) mostra que nos meses de inverno há um aumento de ocorrências para as tubulações de ferro fundido e PEAD, conforme pode ser verificado na Figura 6.

Quanto à influência do diâmetro da tubulação nas ocorrências de vazamentos, a Figura 7 mostra taxas bem mais elevadas para as tubulações de menores diâmetros, ou seja, até 100 mm.

Figura 6 – Variação mensal dos vazamentos reparados 2002 a 2007 Sabesp (fev./2008)

Figura 7 – Vazamentos reparados por faixas de diâmetro (mm) 2002 a 2007 Sabesp (fev./2008)

A Figura 8 apresenta a taxa média de quebras no período de 2002 a 2007, levando-se em consideração os períodos de implantação das tubulações. Embora possa ser observada uma tendência de queda da taxa de quebras conforme a idade das tubulações se mostre mais nova, chama atenção, principalmente, a pequena taxa para as tubulações assentadas na década de 70. Esse fenômeno tem como principal causa a mudança ocorrida na fabricação do ferro fundido, que recebeu uma proteção interna contra corrosão, sendo empregado no sistema de distribuição da RMSP a partir de 1973. Já a taxa encontrada para as redes implantadas na década de 90 apresenta um valor acima do esperado cujas causas que possam explicar o motivo desse aumento sejam mais difíceis de serem definidas, tendo influência da consolidação dos novos materiais empregados a partir da década de 70, ou seja, o cimento amianto e, especialmente, o PVC. Verifica-se que a idade é realmente um fator importante na previsão de quebras futuras das tubulações.

Figura 8 – Taxa de quebras por década de implantação 2002 a 2007 Sabesp (fev./2008)

Quanto às taxas de quebras por material, cujos valores são apresentados na Figura 9, verifica-se que o aço apresenta uma taxa baixíssima de quebra, a explicação para isso podem ser as características de resistência do material e também pelo fato das tubulações de aço serem geralmente de diâmetros superiores a 400 mm, cujas taxas para essa faixa de diâmetro apresentam valores menores.

Figura 9 – Taxa de quebras por material da tubulação 2002 a 2007 Sabesp (fev./2008)

As taxas relativas às tubulações de cimento amianto e de PVC mostram-se bem superiores que as encontradas para as tubulações de ferro fundido e PEAD. Essas diferenças apontam a importância do conhecimento do material da tubulação para uma previsão de falhas futuras de um sistema de distribuição de água.

Outra causa apontada na literatura como uma das principais na falha das tubulações é relativa à carga externa sobre a tubulação, que depende principalmente das condições de tráfego e da profundidade da tubulação. Os dados cadastrais disponíveis não apresentam a profundidade das tubulações de água, não permitindo, assim, que se faça uma análise sobre a influência da profundidade na taxa de quebras. Outro fator importante é a localização da tubulação na via, ou seja, se ela está na via carroçável ou se está no passeio. Embora a estrutura do banco de dados tenha essa informação, somente 8% das tubulações têm essa informação preenchida. Portanto, diante da pequena quantidade de informação disponível nenhuma análise foi efetuada com o uso desses dados.

As vias públicas do município de São Paulo são classificadas segundo a carga de tráfego, a saber: local (tráfego leve), coletora (tráfego médio a meio pesado) e arterial (tráfego pesado a muito pesado). Através de ferramentas de SIG essa classificação de vias

foi correlacionada com as tubulações e a Figura 10 apresenta a distribuição em termos de extensão de rede encontrada. Há uma pequena parcela das vias, principalmente na região central da cidade, onde as vias públicas hoje funcionam apenas para o trânsito de pessoas.

Figura 10 – Classificação das vias públicas

A Figura 11 apresenta as taxas de quebra segundo a classificação de vias para as tubulações do Município de São Paulo. Observa-se uma relação entre a taxa de quebras e a intensidade de tráfego sobre a tubulação.

Outra causa apontada na literatura é o tipo de solo que envolve a tubulação, devido principalmente à corrosão externa de tubulações em ferro fundido em solos argilosos.

Nesse estudo não foi possível verificar a relação do solo com as quebras, pois não foi possível disponibilizar um mapa de solos para a RMSP de forma a cruzar com os pontos de vazamentos cadastrados.

Quanto à questão da influência da pressão na ocorrência de quebras é preciso primeiramente salientar que com o passar dos anos a maioria dos setores de abastecimento tiveram várias mudanças nos seus limites. Portanto, a situação das pressões atuais em muitos casos é bem diferente das situações de 10, 20, 30 anos atrás.

O controle de pressões no sistema de distribuição operado pela Sabesp também é relativamente recente, o processo de instalação intensiva de válvulas redutoras de pressão - VRPs para o controle de pressões teve início em 1996, ou seja, a maioria das tubulações já estava operando há mais de 30 anos.

Figura 11 – Taxas de quebra por tipo de via pública – Município de São Paulo

Para uma avaliação das cargas de pressão nas tubulações e a sua relação com as taxas de quebra, foi elaborado um mapa de pressões estáticas máximas admitindo apenas a diferença entre cota do nível d'água superior dos reservatórios (superficiais e elevados) e as cotas do terreno, a partir de um modelo digital de terreno. Foram criadas quatro faixas de carga de pressão para serem relacionadas aos pontos de vazamento.

A Figura 12 apresenta a distribuição das faixas de pressão em relação à extensão das tubulações e a Figura 13 mostra as taxas de quebra referentes às faixas de pressão analisadas. Era esperada uma proporcionalidade direta entre o aumento das pressões e crescimento do número de quebras. Tal fato não foi observado, pelo contrário, na classe inferior a 15 mca, principalmente para as tubulações de cimento amianto e PVC, a taxa de quebras foi bem superior a das demais faixas de pressão estudadas. Uma das hipóteses que pode explicar tal fato é que nessas áreas há a atuação de boosters para garantir a regularidade do abastecimento.

Figura 12 – Distribuição das faixas de pressão

Figura 13 – Taxas de quebra segundo faixas de pressão

Para verificar a hipótese acima e também analisar o efeito da oscilação de pressão na ocorrência de quebras das tubulações foi feita uma avaliação da quantidade de ocorrências de vazamentos dentro das áreas de atuação de boosters. A Figura 14 aponta que as áreas atendidas por booster apresentam taxas de quebra superiores às taxas médias para todos os materiais, com exceção do ferro fundido.

Figura 14 – Taxas de quebra em áreas de booster

Para dar continuidade ao estudo visando propor uma metodologia para criação de um plano de substituição de redes, a partir de uma projeção de futuros vazamentos nas tubulações, foi importante analisar a taxa de vazamentos considerando o binômio material-idade das tubulações.

Assim, são apresentadas as figuras 15 a 18 relativas aos 4 principais materiais com as suas respectivas idades de assentamento, de forma a buscar um melhor entendimento do processo de quebras das tubulações.

As taxas de quebra para as tubulações de ferro fundido são mais elevadas para as tubulações mais antigas.

A partir de 1973 foram implantadas tubulações com revestimento de cimento e areia, dando proteção contra a corrosão interna. Há cerca de 5.000 km de rede de ferro fundido sem revestimento e 10.000 km com revestimento.

Figura 15 - Taxas de quebra de tubulações de ferro fundido

O PEAD é um material ainda pouco utilizado na rede de distribuição, representando apenas 1,4 % da extensão total assentada. Os primeiros anos de utilização apresentaram vários problemas diagnosticados pela falta de normatização na fabricação dos tubos e também pela mão de obra sem

qualificação para trabalhar com o material. Vale a pena observar que as tubulações implantadas em 1991 apresentavam uma média de apenas 6 vazamentos por ano e devido à pouca extensão de rede a taxa de quebras chega a mais de 300 vaz./ 100 km.ano.

Figura 16 - Taxas de quebra de tubulações de PEAD

O PVC é o segundo material mais utilizado na rede de distribuição da RMSP com cerca de 9.000 km. De 1973 a 1976 a extensão assentada anualmente foi baixa, portanto o valor da taxa de quebra referente ao ano de 1973 tem a mesma

explicação dada ao ano de 1991 para a tubulação de PEAD. Para os demais anos há uma oscilação das taxas entre 50 e 150 vaz./km.ano cuja justificativa para tal variação não é facilmente encontrada.

Figura 17 - Taxas de quebra de tubulações de PVC

As tubulações de cimento amianto representam apenas 2,7 % da extensão da rede de distribuição da RMSP. Essa pequena extensão de rede deixa muito sensível o cálculo anual das taxas de quebra, assim como no caso do PEAD. Não se pode deixar de ser observado que em praticamente todos os anos a taxa foi superior a 50 vaz. / 100 km.ano.

Outro fator importante a ser levado em consideração é que está proibida a fabricação de amianto no Brasil, ocasionando problemas para os consertos onde há necessidade de troca de peças.

Figura 18 - Taxas de quebra de tubulações de cimento amianto

Durante o período de 2002 a 2007 foram relacionados reparos de quebras em 63.036 segmentos de tubulação, ou seja, 10,3% do total de segmentos de tubulações de água cadastrados no sistema Signos.

Muitas das quebras ocorreram no mesmo segmento de tubulação. A Tabela 2 apresenta a distribuição dos segmentos conforme o número de falhas ocorridas durante o período de 2002 a 2007, em função do material da tubulação.

A Figura 19 apresenta a distribuição dos segmentos de tubulação por número de falhas ocorridas entre 2002 e 2007, em função do material da tubulação.

A reincidência de falhas é mais significativa nas tubulações de PVC e de cimento amianto. O PEAD e o ferro fundido foram os materiais que apresentaram maiores quedas no número de falhas subsequentes.

Tabela 2 – Segmentos da tubulação com falhas subsequentes entre 2002 e 2007

Material	Número de segmentos de tubulação com X falhas									Total	Total de falhas
	0	1	2	3	4	5	6	7	> 7		
Ferro fundido	380.981	24.613	6.156	2.060	857	366	217	115	208	415.573	52.731
Cimento amianto	11.701	1.124	442	229	112	84	45	30	121	13.888	5.646
PVC	137.327	14.360	4.853	1.977	1.024	599	360	219	631	161.350	48.150
PEAD	10.763	604	113	36	21	4	9	1	13	11.564	1.301
Outros	3.302	94	17	8	5	1	2	0	3	3.432	228
Desconhecido	6.971	924	190	72	44	22	12	12	27	8.274	2.352
TOTAL	551.045	41.719	11.771	4.382	2.063	1.076	645	377	1.003	614.081	110.408

Figura 19 - Distribuição dos segmentos de tubulação por número de falhas entre 2002 e 2007

CONCLUSÕES

Os cadastros técnico e operacional das redes de distribuição de água têm um papel muito importante na avaliação da deterioração estrutural das tubulações, pois são a base para o levantamento das frequências de falhas.

A idade da tubulação pode ser considerada como a causa predominante no processo de deterioração estrutural das tubulações, mas não é a única a ser considerada quando da elaboração de um plano de substituição de tubulações.

Tubulações de material não metálico, apesar de mais novas, apresentaram taxas de quebra mais elevadas que tubulações mais velhas de ferro fundido.

Um aprofundamento das análises aqui apresentadas, aliado a uma análise de custos deve ser a base para a elaboração de planos para substituição de tubulações de sistemas de abastecimento de água.

REFERÊNCIAS

ALEGRE, H. et al. (2000). Performance indicators for water supply services. Operations & Maintenance Committee, International Water Association.

DEB, A. K. et al. (1998) Quantifying future rehabilitation and replacement needs of water mains. American Water Works Association Research Foundation, Denver.

MORRIS JR., R.E. (1967). Principal causes and remedies of water main breaks. Journal AWWA, v. 59, n. 7, p. 782-798, jul. 1967.

O'DAY, D. K. (1982). Organizing and analyzing leak and break data for making replacement decisions. Journal of American Water Works Association, v. 74, n. 11, p. 589-594, nov. 1982.

O'DAY, D. K. et al. (1986) Water main evaluation for rehabilitation/replacement. American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO, 1986.

PELLETIER, G.; MAILHOT, A.; VILLENEUVE, J.P. (2003). Modeling water pipe breaks – Three case studies. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 129, n. 2, p. 115-123, mar.-abr. 2003.

PRESTON, S.J.; STURM, R. (2007). Understanding the components of your Infrastructure Leakage Index (ILI) is necessary to develop a successful strategy to reduce the overall ILI value – especially in systems with a low ILI. In: Water Loss 2007, 2007, Bucareste, Romênia. Conference Proceedings – Volume III, Romênia, IWA, 2007, p.664-673.

SHAMIR, U.; HOWARD, D.D. (1979). An analytic approach to scheduling pipe replacement, Journal AWWA, v. 71, n. 5, p. 248-258, maio 1979.